

УДК 621.993

НАРЕЗАНИЕ ВНУТРЕННИХ РЕЗЬБ МАЛОГО ДИАМЕТРА С НАЛОЖЕНИЕМ НА МЕТЧИК УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

© 2012 В. В. Головкин, М. В. Дружинина, В. Н. Трусов

Самарский государственный технический университет

В статье проведён анализ влияния ультразвуковых колебаний на процесс резания резьбы. Приведены результаты исследований при помощи специально разработанных и изготовленных быстросъемных ультразвуковых устройств. В результате исследований установлено, что наложение на инструмент вынужденных ультразвуковых колебаний позволяет значительно повысить эффективность процесса резьбонарезания, производительность процесса и стойкость режущего инструмента.

Резьба, ультразвуковое устройство, метчик, колебания, резьбонарезание.

В современном авиастроении применяются материалы с высокими физико-механическими характеристиками, что позволяет значительно повысить ресурс работы различных деталей, узлов и агрегатов. Вместе с тем механическая обработка деталей из них вызывает серьезные затруднения, связанные с низкой стойкостью инструмента и недостаточным качеством обработки.

Одним из возможных путей исключения указанных недостатков является использование различных методов физико-механической обработки, в частности, введение в зону резания энергии вынужденных ультразвуковых колебаний.

В результате исследований установлено, что наложение на инструмент ультразвуковых колебаний позволяет значительно повысить эффективность механической обработки. При этом удаётся достичь повышения производительности процесса, стойкости режущего инструмента, а так же качества изготавливаемых изделий.

При нарезании резьбы метчиком интегральным показателем силовой ситуации является крутящий момент. По изменению крутящего момента в процессе работы можно судить о работоспособности инструмента. Такой подход наиболее эффективен при нарезании резьб малого диаметра, т.к. в этом случае отказы инструмента происходят главным образом из-за его поломок.

Для сравнительной оценки различных конструкций метчиков, в том числе метчиков с износостойкими покрытиями, были проведены исследования крутящего момента при нарезании резьб малого диаметра в труднообрабатываемых материалах с наложением на метчик ультразвуковых колебаний.

Сравнительные исследования крутящего момента $M_{кр.}$ проводились при обычном и ультразвуковом нарезании резьб в титановых, нержавеющей и жаропрочных сплавах комплектом метчиков и одним метчиком полного профиля, а также метчиками с покрытием из нитрида титана (TiN).

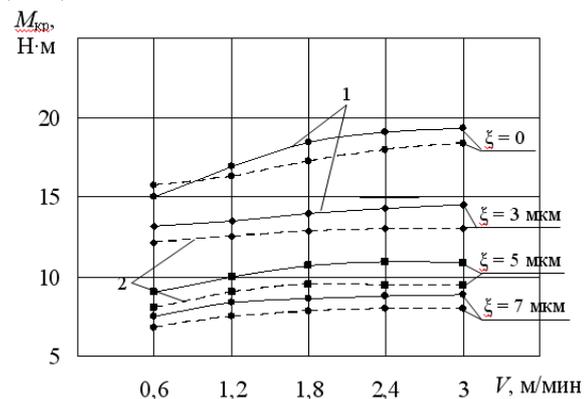


Рис. 1 Влияние V и ξ на $M_{кр}$ при обработке сплава ВТ9 метчиком М8×1,25 (ТС – сульфидфрезол):
1 – метчик без покрытия TiN;
2 – метчик с покрытием TiN

Результаты исследований влияния амплитуды колебаний (ξ) и скорости резания (V) на крутящий момент ($M_{кр.}$) при обработке сплавов ВТ9 и Х12Н22ТЗМР приведены на

рис. 1 и 2. Из приведённых графиков видно, что наложение ультразвука способствует снижению $M_{кр.}$ во всём диапазоне исследованных скоростей. При этом с увеличением амплитуды до $\xi = 7$ мкм эффективность действия ультразвука возрастает.

Сравнение результатов работы первого и последнего метчиков из комплекта (рис. 2) показывает, что эффект снижения $M_{кр.}$ от наложения ультразвуковых колебаний больше при работе последним метчиком. При сравнении результатов работы метчиков с износостойким покрытием TiN и без него видно, что метчики с покрытием позволяют достичь несколько больший эффект снижения $M_{кр.}$, особенно после обработки значительного количества отверстий.

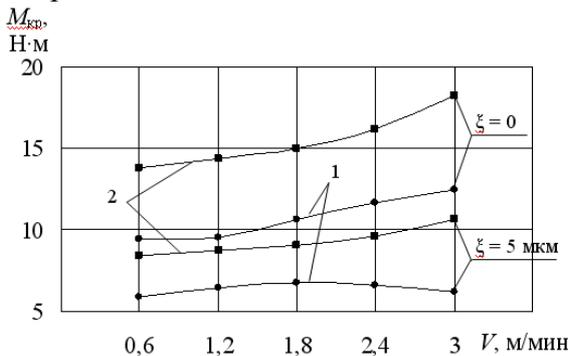


Рис. 2. Влияние V и ξ на $M_{кр.}$ при обработке сплава X12H22T3MP

метчиком M8×1,25 (ТС – олеиновая кислота):
 1 – 1-ый метчик из комплекта;
 2 – 3-ий метчик из комплекта

Снижение крутящего момента при наложении на метчик ультразвуковых колебаний объясняется рядом факторов: снижение сопротивления пластической деформации, за счёт активизации дислокаций и их размножения в ультразвуковом поле, уменьшение коэффициента трения, изменение векторов сил на режущих поверхностях инструмента, активация технологической среды.

В результате нанесения износостойких покрытий изменяются физико-механические характеристики рабочих поверхностей метчика:

износостойкость, теплостойкость, микротвёрдость.

При обычной обработке увеличение $M_{кр.}$ связано, в частности, с наростообразованием и последующим защемлением метчика. При наложении ультразвуковых колебаний указанные явления или исчезают полностью или проявляются в значительно меньшей степени.

На рис. 3 приведены результаты исследования влияния диаметра отверстия под резьбу на $M_{кр.}$ резания. Увеличение диаметра отверстия позволяет снизить крутящий момент на 20÷30%.

Необходимо также отметить, что значительное влияние на $M_{кр.}$ оказывает глубина отверстия, особенно при нарезании глухих резьб метчиком полного профиля. В этом случае необходимо принять меры для удаления стружки или увеличить глубину отверстия под резьбу.

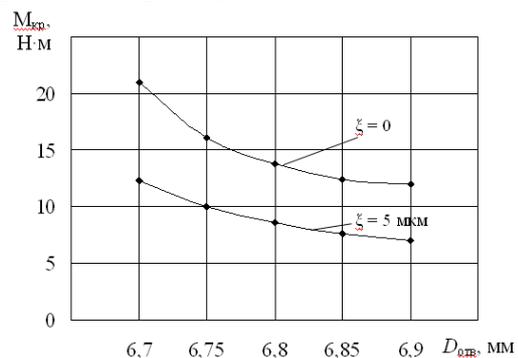


Рис. 3. Влияние диаметра отверстия на $M_{кр.}$ при нарезании резьбы M8×1,25 третьим метчиком в сплаве VT9 (ТС – сульфозфрезол)

На рис. 4 представлены результаты исследований влияния глубины отверстия при нарезании резьбы в сплаве ХН68ВМТЮК для резьбы M8. Как видно из представленных зависимостей, с увеличением глубины нарезаемой резьбы увеличивается и крутящий момент, причём более интенсивно при обычной обработке.

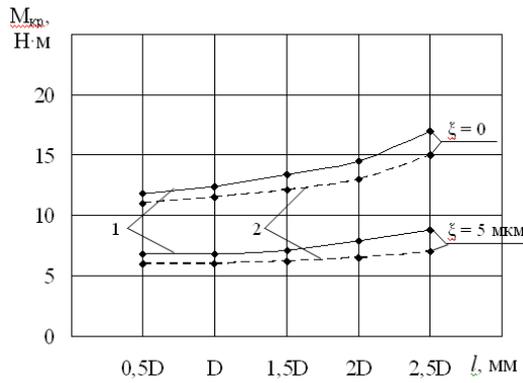


Рис. 4. Влияние глубины нарезаемой резьбы на $M_{кр}$ при обработке сплава ХН68ВМТЮК полнопрофильным метчиком М8×1,25):
1 – 3-ий метчик без покрытия TiN;
2 – 3-ий метчик с покрытием TiN

Увеличение крутящего момента связано с защемлением калибрующей части метчика. Поэтому обычное нарезание резьб на большую глубину, особенно в вязких материалах, связано с большими трудностями. Как видно из приведённых графиков, наложение ультразвуковых колебаний приводит к незначительному увеличению крутящего момента с увеличением глубины нарезаемой резьбы. Рост $M_{кр}$ при обработке метчиками с износостойкими покрытиями происходит менее интенсивно по сравнению с обычными метчиками, причём в большей степени влияние ультразвука проявляется при обработке глубоких отверстий.

На рис. 5 приведены результаты исследования зависимости $M_{кр}$ и угла заборного конуса ϕ при ультразвуковом и обычном нарезании резьб М10 и М8 в сплаве ХН68ВМТЮК метчиками полного профиля.

Из графиков видно, что с увеличением угла $M_{кр}$ несколько уменьшается. Однако, одновременно уменьшается и длина рабочей части метчика и следовательно нагрузка на отдельный зуб возрастает. Как уже указывалось, наложение ультразвуковых колебаний позволяет значительно уменьшить $M_{кр}$, и поэтому становится возможным производить обработку метчиками с меньшей режущей частью.

В процессе исследований установлено, что $M_{кр}$ у метчиков с

покрытием при обработке увеличивается значительно в меньшей степени, чем у метчиков без покрытия.

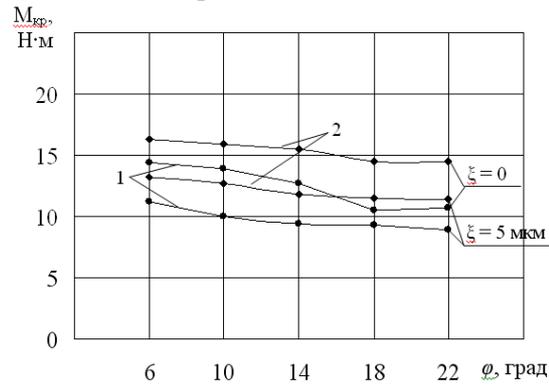


Рис. 5. Влияние угла заборного конуса ϕ на $M_{кр}$ при обработке сплава KBK-26 (ТС-сульфофрезол):
1 – полнопрофильный метчик М8;
2 – полнопрофильный метчик М10

На рис. 6 приведены результаты исследования влияния амплитуды колебаний ξ на $M_{кр.выв.}$ при обработке сплава ВТ9 комплектом метчиков М8×1,25 и метчиками с покрытием TiN.

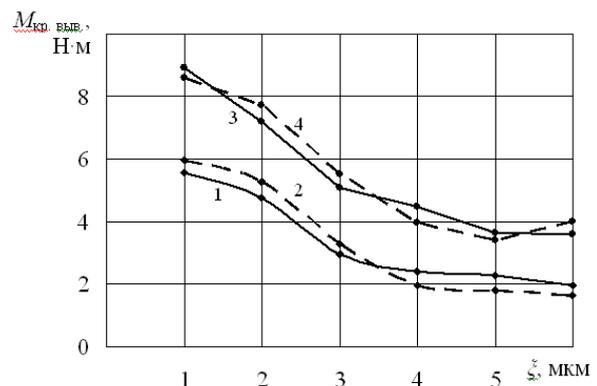


Рис. 6. Влияние амплитуды колебаний на $M_{кр.выв.}$ при обработке сплава ВТ9 метчиком М8×1,25 (ТС – сульфозрезол):
1 – 1-ый метчик; 2 – 1-ый метчик с покрытием TiN; 3 – 3-ий метчик; 4 – 3-ий метчик с покрытием TiN

Из приведённых графиков видно, что увеличение амплитуды ультразвуковых колебаний до $\xi = 5$ мкм приводит к снижению $M_{кр.выв.}$

Покрытие метчиков нитридом титана не оказывает существенного влияния на значения $M_{кр.выв.}$.

На рис. 7 представлены результаты исследования влияния на $M_{кр.выв.}$ скорости

резания V при нарезании резьбы М8 в сплаве Х12Н22Т3МР обычным метчиком и метчиком с разным окружным шагом перьев.

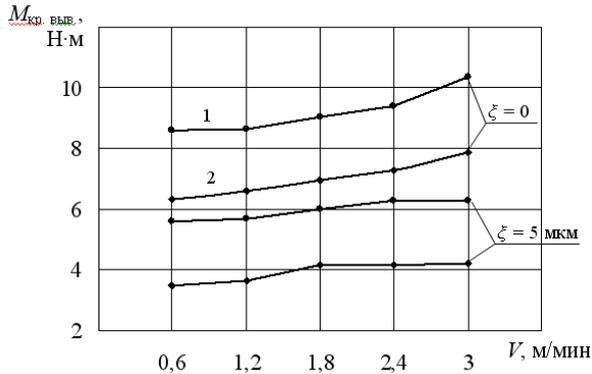


Рис. 7. Влияние скорости резания на $M_{кр.выв.}$ при обработке сплава Х12Н22Т3МР метчиком М8×1,25 (ТС – сульфифрезол):
1 – обычный метчик; 2 – метчик с разным окружным шагом перьев

Из приведённых зависимостей видно, что увеличение скорости резания приводит к увеличению $M_{кр.выв.}$. При работе метчиком с разным окружным шагом значение $M_{кр.выв.}$ на 20 - 40% меньше, чем при работе обычным метчиком. Наложение ультразвуковых колебаний приводит к снижению $M_{кр.выв.}$ в обоих случаях для всех диапазонов скоростей. Таким образом, для нарезания резьб в глухих отверстиях можно рекомендовать метчики, при работе которыми срезание корней стружек происходит поочерёдно каждым зубом метчика.

Исследования работоспособности метчиков проводились параллельно с измерением крутящего момента, точности и качества нарезаемых резьб. Как правило, отверстия под резьбу подготавливали сверлением с последующим развёртыванием или зенкерованием. Особое внимание было уделено компенсации несоосности метчика и отверстия, а также компенсации несовпадения подачи метчика с шагом резьбы. Сравнительную оценку работоспособности инструмента проводили, в основном, в зависимости от числа обработанных отверстий. В качестве критерия износа метчика был принят предельно-допустимый крутящий момент. Это позволило значительно упростить контроль состояния метчика и частично

автоматизировать процесс обработки и полностью исключить поломки метчиков.

На рис. 8 приведены результаты $M_{кр}$ метчика в зависимости от величины износа h по задней поверхности зуба метчика.

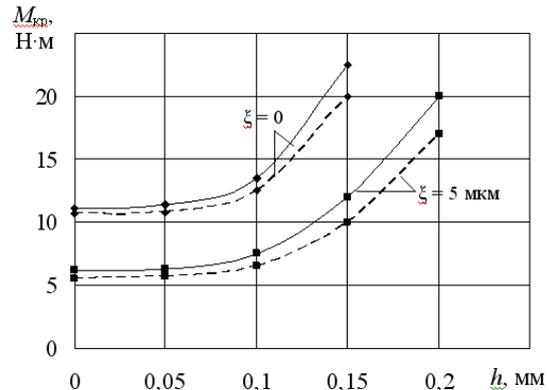


Рис. 8. Влияние износа метчика на $M_{кр}$ при обработке сплава ЭП678-ВД:
1 – метчик без покрытия TiN;
2 – метчик с покрытием TiN

На рис. 9 приведены результаты влияния на величину износа h по задней поверхности зуба метчика количества обработанных отверстий N (резьба М8х1,25; $V = 1,8$ м/мин, СОЖ - касторовое масло). Анализируя приведённые на рис. 8 и 9 зависимости, можно сделать следующие выводы. При ультразвуковой обработке повышение крутящего момента до предельных значений происходит при значительно большем износе зубьев метчика, при этом при обработке метчиком с покрытием значительного изменения в характере роста крутящего момента не обнаружено.

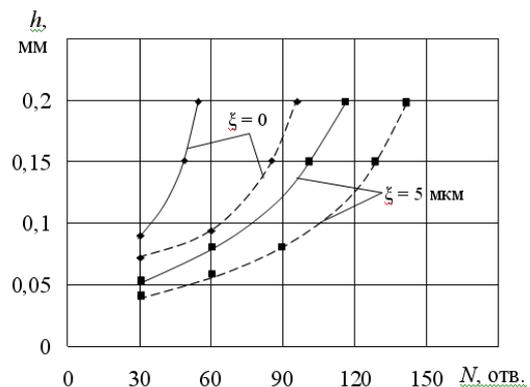


Рис. 9. Зависимость износа метчика от количества обработанных отверстий (материал ЭП678-ВД):
1 – метчик без покрытия TiN; 2 – метчик с покрытием TiN

Однако, если учесть, что допустимый износ h при обработке метчиком с покрытием наступает значительно позднее, чем при обработке обычным метчиком, то наиболее предпочтительной является ультразвуковая обработка метчиками с износостойкими покрытиями.

На рис. 10 приведены исследования стойкости метчиков в зависимости от скорости резания V при обработке сплава X12H22T3MP метчиком M8.

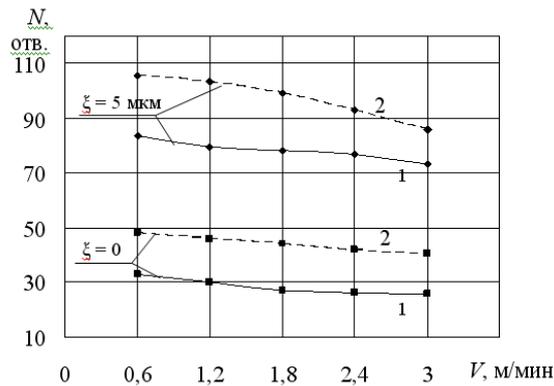


Рис. 10. Влияние скорости резания на стойкость метчика M8 при обработке сплава X12H22T3MP, TC-сульфофрезол:

1 – метчик без покрытия TiN;
2 – метчик с покрытием TiN

Из приведённых графиков видно, что увеличение скорости приводит к снижению работоспособности метчиков.

Наиболее высокой стойкостью обладают метчики с покрытием при сообщении им оптимальных ультразвуковых колебаний. В этом случае количество обработанных отверстий в 3-5 раза больше, чем при обычной обработке метчиком без износостойкого покрытия.

Повышение работоспособности метчиков в данном случае связано с уменьшением сил резания, действующих на рабочих поверхностях инструмента, отсутствием нароста и защемления метчика, активацией технологической среды.

Кроме того, применение покрытий позволяет значительно повысить физико-механические характеристики рабочих поверхностей инструмента, особенно твёрдость и износостойкость, что позволяет дополнительно повысить стойкость метчиков на 20-40%.

На рис. 11 представлены результаты исследования влияния диаметра отверстия под резьбу на стойкость при обработке сплава ЭП678-ВД метчиком M8×1,25.

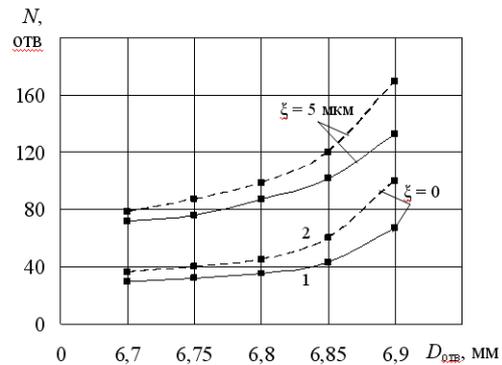


Рис. 11. Работоспособность метчиков в зависимости от диаметра отверстия под резьбу M8 (сплав ЭП678-ВД, TC – сульфозрезол):
1 – метчик без покрытия TiN; 2 – метчик с покрытием TiN

Как видно из приведённых зависимостей, увеличение диаметра отверстия под резьбу приводит к значительному увеличению стойкости инструмента, что связано с уменьшением толщины среза, в результате чего уменьшаются силы, действующие на режущую часть метчика.

Следует отметить, что при наложении ультразвуковых колебаний снижение стойкости с уменьшением диаметра отверстия под резьбу происходит менее интенсивно, чем при обычной обработке.

На рис. 12 приведены результаты влияния заднего угла α на стойкость метчика при нарезании резьб в глухих отверстиях наконечных гаек из сплава X12H22T3MP метчиком M12.

Как видно из представленных графиков, с увеличением заднего угла работоспособность инструмента падает.

Это объясняется уменьшением прочности зуба и защемлением корней стружек, образованных режущими зубьями последующего пера метчика, а также попаданием под затылованные зубья срезанной стружки. В результате, как правило, происходит скол зубьев, даже при обработке

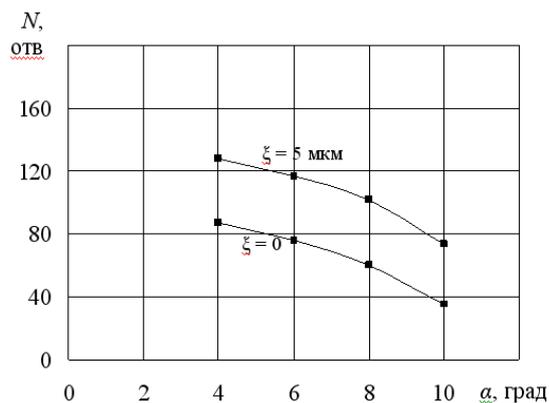


Рис. 12. Влияние заднего угла α на работоспособность метчика M12 (сплав X12H22T3MP, ТС – сульфифрезол)

незначительного количества отверстий. Поэтому, с точки зрения работоспособности инструмента, необходимо применять для глухих резьб метчики с минимальными задними углами. При наложении на метчик осевых ультразвуковых колебания происходит уменьшение кинематического заднего угла, что также приводит к повышению работоспособности инструмента.

Таким образом, при наложении ультразвуковых колебаний работоспособность инструмента повышается в 3-5 раз, причём лучшие результаты получены при использовании метчиков с износостойкими покрытиями.

TAPPING INTERNAL THREADS A SMALL DIAMETER WITH SUPERIMPOSED ON THE USE OF ULTRASONIC OSCILLATIONS

© 2012 V. V. Golovkin, M. V. Druzhinina, V. N. Trusov

Samara State Technical University

In the article the analysis of influence of ultrasonic oscillations on the process of cutting of a thread. Given the results of numerous studies with the help of specially designed and made quick ultrasonic devices. As a result of studies it is established that the application of the forced tool of ultrasonic oscillations allows you to significantly increase the efficiency of the process threads. When this failed to achieve increase of productivity of process and durability of the cutting tool.

Thread, ultrasound device, tap, vibrations, threading.

Информация об авторах

Головкин Валерий Викторович, кандидат технических наук. E-mail: isap@samgtu.ru. Область научных интересов: механическая обработка с применением вынужденных ультразвуковых колебаний.

Дружинина Марина Владимировна, аспирант. E-mail: druzhinina41@yandex.ru. Область научных интересов: нарезание внутренних резьб с наложением на метчик ультразвуковых колебаний.

Трусов Владимир Николаевич, доктор технических наук. E-mail: isap@samgtu.ru. Область научных интересов: механическая обработка материалов.

Golovkin Valeriy Viktorovich, Candidate of Engineering Science. E-mail: isap@samgtu.ru. Area of research: machining with application of the compelled ultrasonic fluctuations.

Druzhinina Marina Vladimirovna, assistant. E-mail: druzhinina41@yandex.ru. Area of research: cutting of female threads with imposing on a tap of ultrasonic fluctuations.

Trusov Vladimir Nikolaevich, Doctor of Engineering Science. E-mail: isap@samgtu.ru. Area of research: machining of materials.